



Penerapan Produksi Bersih untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Pelapisan Logam

The Implementation of Cleaner Production for Improving the Efficiency of Metal Coating Process

Amelia Theresia Sirait^a, Erliza Noor^b, Andes Ismayana^b,

^aDepartemen Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

^bDepartemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Insistut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Article Info:

Received: 14 - 08 - 2018

Accepted: 30 - 11 - 2018

Keywords:

Cleaner production, efficiency, economy, environment.

Corresponding Author:

Amelia Theresia Sirait
Departemen Program Studi
Pengelolaan Sumberdaya Alam
dan Lingkungan, Sekolah
Pascasarjana Institut Pertanian
Bogor;
Email:
ameliatheresia27@gmail.com

Abstract: *Metal coating wastes generally bring about environmental health problems resulting from liquid wastes that contain heavy metals. The waste processing carried out thus far does not solve the problems because it just move wastes to other media. Cleaner production comes to be an alternative in minimizing liquid wastes, for water consumption, and for raw material. The present research was intended to identify wastewater resulting from the production stage, get cleaner production opportunities that can be applied, and give priority to clean production opportunities. The research stages began with a quick scan to identify the sources of wastes in production process and to determine an alternative of cleaner production chance, and then an economic computation was done, including B/C ratio and payback period. The determination of the priority of cleaner production technique given to a company was conducted by using exponential comparison method. The results showed that liquid wastes were originated from the process of fat removing, metal coating and process of cleaning up the remaining oxides. Liquid waste or loss in the form of contaminated fat solvents, the quite great loss of water due to evaporation and leakage. Cleaner production opportunities that can be applied by modifying/adding tools so as to prevent alkali solution from being contaminated, reducing evaporation and reducing leakages by good housekeeping. Three opportunities for cleaner production obtained to have B/C Ratio of more than 1 is can be implemented. Based on the exponential comparison method, the main priority of cleaner production is found, that is pipe changes in the residual oxide cleaning process to avoid leakage, technically and operationally the easiest to implement and followed successively with modifying/adding tools to process of fat removing and metal coating.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Sirait AT, Noor E, Ismayana A. 2019. Penerapan produksi bersih untuk meningkatkan efisiensi proses pelapisan logam. *JPSL* 9(3): 700-709. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.3.700-709>.

PENDAHULUAN

Pelapisan logam merupakan pengendapan logam dengan cara elektrokimia yang bertujuan untuk menahan laju korosi. Perkembangan kegiatan industri pelapisan logam, telah memberikan kontribusi yang besar

terhadap produk-produk yang dihasilkan dari segi kegunaan dan nilai jual yang tinggi. Salah satu industri skala besar yang melakukan teknik pelapisan logam pada proses produksinya yaitu industri kendaraan/otomotif (Triwulandari *et al.* 2015).

Pelapisan logam yang sering dilakukan pada industri antara lain pelapisan tembaga, nikel dan krom. Larutan elektrolisis yang digunakan berupa *chromic acid*, *sulfuric acid*, *phosphoric acid*, *sulfate*, *hycrome salt*, dan *chloride acid* (Hadi 2016). Pelapisan tembaga merupakan pelapisan pendahuluan sebagai lapisan dasar dengan daya hantar panas dan arus listrik yang baik (Sudana *et al.* 2014). Pelapisan nikel dan krom umumnya untuk mencegah korosi, memperindah tampilan, serta memperkuat kualitas tertentu pada bahan yang dilapisi (Andrisel dan Sri 2015).

Proses pelapisan logam juga terdapat pada industri pesawat terbang. Beberapa komponen penunjang di industri tersebut seperti *fuselage*, *wings*, *horizontal stabilizer*, dan *vertical stabilizer* umumnya dilakukan pelapisan permukaan/*metal finishing*. Pengerjaan tersebut dilakukan agar komponen/*part* tahan terhadap adanya keausan yang disebabkan oleh gesekan serta korosi.

Permasalahan pada industri pesawat terbang dalam melakukan proses pelapisan logam umumnya adalah penggunaan air yang besar serta menghasilkan limbah cair bahan berbahaya dan beracun (B3). Logam berat yang terkandung dalam air limbah akan menimbulkan masalah bagi kesehatan manusia dan bahaya lingkungan karena efek toksisitasnya (Yastri *et al.* 2015). Selain itu berdampak buruk terhadap sifat fisis badan air, kehidupan fauna dan flora dalam air serta memicu penyakit kanker, karena sebagian besar bahan baku industri pelapisan logam bersifat karsinogenik (Lestina 2012).

Limbah cair dari hasil pelapisan logam mengandung senyawa krom sebesar 200-250 ppm, nikel 350-400 ppm dan besi 800-900 ppm (Athiek *et al.* 2014). Kandungan tersebut telah melebihi baku mutu yang ditetapkan, sehingga sangat berbahaya apabila langsung dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu (Dwi *et al.* 2008).

Untuk mengelolah limbah pelapisan logam umumnya teknik yang dilakukan adalah dengan proses koagulasi-flokulasi (Satmoko dan Nusa 2005), penggunaan sistem *ion exchanger* (Sumada 2006) serta Elektrokoagulasi (Ronita dan Regina 2017). Teknik pengolahan limbah ini disebut dengan konsep *end of pipe treatment* yang merupakan pengolahan akhir limbah.

Industri pesawat terbang selama ini hanya mengandalkan pengolahan limbah saja, dengan kenaikan produksi maka volume limbah akan bertambah. Hal tersebut pada akhirnya akan berdampak pada bertambahnya volume limbah cair yang dihasilkan dan tingginya biaya operasional instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang kemudian juga berakibat pada kurang optimalnya pengolahan air limbah tersebut.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperlambat terbentuknya limbah dan pemborosan dalam penggunaan sumberdaya adalah melalui penerapan teknik produksi bersih sebagai langkah yang lebih bersifat proaktif, antisipatif, dan preventif (KLH 2003). Beberapa penelitian yang menerapkan produksi bersih pada proses pelapisan logam diantaranya adalah meminimalisasi sumberdaya air sebesar 17.85% dengan melakukan modifikasi/penambahan alat (Sahat 2004); *recycling* air pembilas (Generousdi dan Rodesri 2005), serta mencegah kebocoran, kontaminasi, dan kehilangan larutan dapat mengefisiensi penggunaan bahan baku dengan penerapan *good housekepping* (Moertinah 2008). Produksi bersih didefinisikan sebagai penerapan strategi lingkungan yang dilakukan secara terus menerus, bersifat terpadu dan pencegahan yang dapat diterapkan pada proses, produk dan pelayanan untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mengurangi risiko bagi manusia dan lingkungan (UNEP 2003).

Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi limbah cair terbentuk dari tahapan produksi, (2) mendapatkan peluang produksi bersih yang dapat diterapkan, (3) memberikan prioritas peluang produksi bersih.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada salah satu industri pesawat terbang pada unit produksi pelapisan logam yang berada di Propinsi Jawa Barat. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan secara *purposive sampling* (sengaja).

Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung, wawancara dan kuesioner. Data sekunder diperoleh dari catatan inventaris bahan dan limbah, pengelolaan lingkungan yang sudah dilakukan, keamanan kesehatan dan keselamatan kerja (K3) dan dokumen perusahaan terkait unit pelapisan komponen.

Tahapan Penelitian

Quick Scan

Tahapan ini meliputi pengamatan langsung pada proses produksi; identifikasi aliran bahan dari unit produksi (Indrasti 2012), serta keluaran limbah cair dan *lost* yang dihasilkan (Babasaran 2013). Tahap ini dilakukan dengan metode *quick scan* yang meliputi wawancara dan *tour* fasilitas dengan menggunakan *checklist* (Indrasti dan Fauzi 2009).

Penentuan Peluang Produksi Bersih

Tahap ini dilakukan dengan menerapkan teknik produksi bersih yang sesuai dengan temuan pada saat *quick scan* yang berupa limbah cair dan *lost* sumber daya. Teknik produksi bersih yang akan diterapkan berdasarkan hasil kajian literatur dari penelitian sebelumnya yang terkait dengan upaya efisiensi proses pelapisan logam.

Analisis Kelayakan Teknis, Ekonomi dan Lingkungan

Teknik produksi bersih yang diperoleh kemudian dianalisis melalui kelayakan teknis yang didasarkan pada peningkatan efisiensi proses, efisien dalam penggunaan bahan, ketersediaan tempat dan sumber daya manusia yang memadai (Indrasti dan Fauzi 2009). Analisis ekonomi dilakukan dengan:

- Analisis keuntungan/penghematan yang dapat diperoleh (Haryono 2016).
- Analisis *B/C ratio* untuk mengetahui kelayakan secara finansial (Indrasti dan Fauzi 2009), dimana jika *B/C ratio* lebih dari 1 maka proyek dinyatakan layak secara finansial dan dapat dilaksanakan. Jika *B/C ratio* sama dengan 1, proyek bisa dilaksanakan atau tidak, jika nilai *B/C ratio* kurang dari 1 maka proyek tidak layak.
- Analisis *Pay back period* (PBP) digunakan untuk mengetahui waktu mendapatkan pengembalian investasi dan kelayakan proyek (Manope *et al.* 2014), Jika *pay back period* kurang dari umur investasi, maka usulan proyek dapat diterima; jika *pay back period* lebih dari umur investasi, maka usulan proyek tersebut ditolak.

Analisis kelayakan lingkungan dilakukan dengan cara memperhitungkan dampak atau manfaat yang ditimbulkan terhadap lingkungan saat opsi produksi bersih diterapkan (Haryono 2016).

Pemilihan Prioritas Produksi Bersih

Teknik produksi bersih yang terpilih dari *quick scan* kemudian dianalisis melalui metode perbandingan eksponensial (MPE). Metode tersebut digunakan untuk pengambilan keputusan dari beberapa alternatif keputusan dengan kriteria jamak (Marimin 2004). Pengambilan data dilakukan terhadap pakar-pakar yang dipilih berdasarkan *purposive sampling*.

Berikut rumus dengan metode MPE:

$$\text{Total nilai (TNi)} = \sum_{n=1}^m (\text{RKij}) \text{TKKj}$$

Keterangan

TNi = Total nilai alternatif ke-i

RKij = Derajat kepentingan relatif alternatif ke-j pada alternatif keputusan i

TKKj = Derajat kepentingan kriteria keputusan ke-j; $\text{TKKj} > 0$

n = Jumlah alternatif keputusan

m = Jumlah kriteria keputusan

Bobot kriteria dalam pemilihan peluang produksi bersih ini didasarkan pada penilaian kepentingan kriteria tersebut dengan nilai masing-masing kriteria 1-5. Kriteria yang dinilai yaitu (1) kemampuan teknis, (2) aspek finansial, (3) SDM dan (4) lingkungan. Penilaian peluang produksi bersih terhadap kriteria menggunakan skala penilaian 1 (kurang baik) sampai dengan 10 (sangat baik). Semakin baik nilai peluang produksi bersih maka semakin tinggi skor. Pembobotan kriteria alternatif produksi bersih dapat dilihat pada tabel 1.

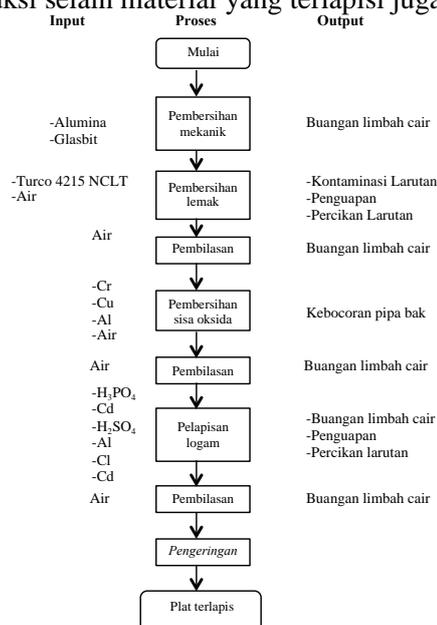
Tabel 1 Pembobotan kriteria alternatif produksi bersih menggunakan metoda MPE.

Skala	Keterangan
1	Sangat Penting Sekali
2	Sangat Penting
3	Penting
4	Cukup penting
5	Tidak penting

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pelapisan Logam

Proses produksi pelapisan logam terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap persiapan, pelapisan dan *finishing*. Bahan baku yang digunakan berupa logam dan pelarut kimia, setiap proses tersebut menggunakan air yang banyak. Keluaran proses produksi selain material yang terlapisi juga menghasilkan limbah B3.



Gambar 1 Diagram alir proses pelapisan logam pada industri pesawat terbang.

Setelah dilakukan pengamatan lebih lanjut melalui *quick scan*, diketahui bahwa terdapat beberapa temuan yang menimbulkan inefisiensi terhadap bahan baku dan penggunaan air yang mengakibatkan limbah cair terbentuk pada setiap tahapan proses produksi pelapisan logam. Tahapan tersebut meliputi tahapan persiapan yang terdiri dari proses pembersihan mekanik, pembersihan lemak dan pembersihan sisa oksida. Tahapan tersebut merupakan tahapan pembersihan pada plat/material dengan menggunakan bahan kimia asam dan basa. Pembersihan ini dilakukan untuk menghilangkan berbagai jenis kotoran seperti lemak, oli, *grease*, karat dan sebagainya. Pada proses pembersihan mekanik bahan baku yang digunakan adalah campuran alumina, glasbit dan air. Pengerjaan tersebut menggunakan mesin *sand blasting* yang berkapasitas 800 l selama 15-20 menit untuk pembersihan logam secara fisik (mekanik). Pembersihan logam secara kimia dilakukan dengan dua tahap yaitu proses pembersihan lemak dan pembersihan sisa oksida.

Pada proses pembersihan lemak menggunakan bahan baku berupa larutan alkali Turco 4215 NCLT dengan konsentrasi 40 g/l – 60 g/l pada temperatur 50 °C selama 10-15 menit. Proses pembersihan sisa oksida bahan baku yang digunakan adalah Cr dengan konsentrasi 4.5-13.5 g/l, Cu 0.20 g/l, Al 17.2 g/l dan air. Kapasitas tanki tersebut sebesar 52 000 liter dan waktu yang dibutuhkan untuk proses ini berkisar 5-10 menit. Keluaran yang dihasilkan pada tahap persiapan adalah limbah cair yang mengandung logam berat. Permasalahan pada tahap tersebut yaitu adanya kebocoran pada pipa tanki, percikan larutan, penguapan serta kontaminasi larutan.

Setiap tahapan proses dilakukan pembilasan/*rinsing* untuk menghindari terjadinya kontaminasi antar larutan kimia untuk proses selanjutnya. Tahapan berikutnya adalah proses pelapisan yang menggunakan bahan kimia seperti Cd, Al, Cl, H₂SO₄ dan sebagainya. Pada proses ini pengerjaan pelapisan menggunakan temperatur yang berbeda-beda yaitu 50 °C, 98 °C, dan 120 °C. Keluaran yang dihasilkan adalah buangan limbah cair B3 dan kehilangan air pada larutan. Tahapan akhir merupakan proses *finishing* pada plat/material yang telah dilapisi. Pada proses ini dilakukan pendinginan (*quenching*) untuk menetralkan plat/material dengan cara dibilas kembali, kemudian dilakukan pengeringan pada plat yang telah dilapisi. Waktu yang dibutuhkan untuk tahap akhir ini selama 15-20 menit.

Peluang Penerapan Produksi Bersih

Berdasarkan hasil pengamatan melalui *quick scan*, maka diperoleh peluang produksi bersih yang dapat diterapkan pada beberapa tahapan proses yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Peluang penerapan produksi bersih.

Proses	Limbah atau kehilangan	Peluang produksi bersih
Pembersihan lemak	Kontaminasi larutan	Modifikasi/penambahan peralatan
Pelapisan logam	Penguapan larutan	Modifikasi/penambahan peralatan
Pembersihan sisa oksida	Kebocoran	<i>Good housekeeping</i>

Sumber: Hasil Pengamatan

Proses Pembersihan Lemak

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada proses ini terjadi pembentukan limbah cair secara cepat. Pada tanki pembersih lemak digunakan larutan alkali, namun bahan besi yang dipakai pada tanki tersebut dapat terlarut dalam larutan alkali. Hal itu dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi terhadap larutan. Kontaminasi tersebut berindikasi dari perubahan fisik dan kimia yang meliputi perubahan warna larutan, kenaikan konsentrasi menjadi 80 g/l, serta perubahan pH menjadi 12. Didapat total pemborosan bahan baku dari kontaminasi larutan adalah sebesar 52 000 l/8bulan. Berikut kontaminasi larutan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kontaminasi larutan alkali.

Jenis tanki yang digunakan diharapkan tidak bereaksi dengan larutan alkali, hal tersebut dilakukan untuk memperlambat terbentuknya limbah cair dan efisiensi penggunaan bahan baku. Tanki tidak diganti tetapi dilakukan modifikasi/penambahan alat dengan menggunakan lembaran polypropylene sebagai peluang produksi bersih yang dapat diterapkan. Adapun Analisis ekonomi untuk biaya investasi dan penghematan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Polyproylene (PP) lembaran = Rp 6 315 925
- Biaya pengelasan = Rp 3 418 030
- Total Investasi = Rp 9 733 955
- Biaya larutan alkali yang digunakan sebesar = Rp 483 600 000/tahun.
- Pemakaian larutan alkali tersebut hanya bertahan hingga 8 bulan. Seharusnya dapat digunakan selama 1 tahun.
- Asumsi harga bahan baku untuk 1 bulan adalah sebesar Rp 483 600 000/tahun : 12 bulan = Rp 40 300 000/bulan.
- Apabila penambahan alat seperti lembaran polypropylen pada tanki degreasing dapat dilaksanakan, maka kerugian selama 4 bulan dapat dihemat sebesar Rp 161 200 000.

$$\text{Cost} = \frac{\text{Rp } 9\,733\,955}{5 \text{ tahun}} = \text{Rp } 1\,946\,791/\text{tahun}$$

$$\text{B/C Ratio} = \frac{\text{Rp } 161\,200\,000/\text{tahun}}{\text{Rp } 1\,946\,791/\text{tahun}} = 82.8$$

$$\text{PBP} = \frac{\text{Rp } 9\,733\,955}{\text{Rp } 161\,200\,000/\text{tahun}} = 0.24 \text{ tahun}$$

Proses Pembersihan Lemak dan Pelapisan Logam

Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa air dari larutan pada proses penghilang lemak dan pelapisan logam mengalami penguapan. Hal tersebut mengakibatkan pengurangan volume larutan sehingga perlu penambahan air demin setiap hari. Pada tanki yang berkapasitas 52 000 l dengan temperatur 50 °C pengurangan volume larutan sebesar 39 l/hari, sedangkan pada temperatur 102 °C sebesar 156 l/hari. Untuk tanki yang berkapasitas 1700 l dengan temperatur 50 °C pengurangan volume larutan sebesar 3,4 liter sedangkan pada temperatur 98 °C sebanyak 10.2 l/hari. Hal tersebut selain berdampak pada pemborosan air juga berpotensi terjadi bahaya pada pekerja yaitu adanya uap panas di area kerja dan percikan dari larutan.

Salah satu teknik produksi bersih yang dapat diterapkan untuk mengilangkan penguapan adalah memodifikasi/penambahan alat dengan penggunaan bola-bola *Teflon polypropylene* untuk menutupi permukaan larutan. Pengaplikasian bola *Teflon polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengaplikasian bola *Polypropylene*.

Adapun penjelasan biaya investasi dan penghematan dapat dilihat sebagai berikut:

- Terdapat 6 tanki yang berkapasitas 52 000 liter dengan temperatur 50 °C yang mengalami penguapan sebanyak 39 liter/hari.
- Pada temperatur 102 °C terdapat dua tanki yang berkapasitas 52 000 liter mengalami penguapan sebanyak 156 liter/hari.
- Terdapat 8 tanki yang berkapasitas 1 700 liter dengan temperatur 50 °C mengalami penguapan sebanyak 3.4 liter/hari.
- Pada temperatur 98 °C terdapat 3 tanki yang berkapasitas 1 700 liter dengan penguapan sebanyak 10.2 liter/hari.
- Asumsi harga air demin = Rp 800/liter
- Apabila penambahan bola *polypropylene* dapat dilaksanakan maka akan menghemat air sebesar 208.6 liter/hari. ($208.6 \times 800 = \text{Rp } 166\,880/\text{hari}$)
- Total investasi bola *Teflon Polypropylene* untuk semua tanki sebesar = Rp 11 180 000
- Penghematan yang diperoleh sebesar $166\,880 \times 30 = \text{Rp } 5\,006\,400/\text{bulan}$ dan pertahun sebesar = Rp 60 076 800/tahun.

$$\text{Cost} = \frac{\text{Rp } 11\,180\,000}{20 \text{ tahun} \times 12} = \text{Rp } 46\,583/\text{bulan}$$

$$\text{B/C Ratio} = \frac{\text{Rp } 5\,006\,400/\text{bulan}}{\text{Rp } 46\,583/\text{bulan}} = 107$$

$$\text{PBP} = \frac{\text{Rp } 11\,180\,000/\text{bulan}}{\text{Rp } 5\,006\,400/\text{bulan}} = 2.2 \text{ bulan} : 0.1 \text{ th}$$

Proses Pembersihan Sisa Oksida

Pada saat penelitian dilakukan hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi kebocoran pada pipa tanki pembersihan sisa oksida, sehingga menyebabkan penurunan jumlah volume larutan dari tanki. Hasil total kehilangan larutan tersebut sebesar 10 1/3bulan.

Apabila tidak segera diperbaiki maka intensitas kebocoran akan semakin besar, sehingga harus menambah kembali larutan dengan kapasitas yang telah disesuaikan dan menambah volume limbah yang akan diolah. Salah satu teknik produksi bersih yang dapat dilakukan adalah dengan penerapan *good housekeeping* yang dimaksudkan untuk efisiensi penggunaan bahan baku dan mencegah kehilangan bahan. Penerapan tersebut dilakukan dengan perbaikan/pergantian pada pipa tanki yang rusak. Pipa tersebut dapat langsung diganti dengan pipa pp yang baru sesuai dengan kualitas yang diinginkan oleh perusahaan. Adapun Analisis ekonomi untuk biaya investasi dan penghematan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Investasi yang dibutuhkan berupa pipa pp 1 m sebesar = Rp 389 700.
Biaya pemakaian larutan untuk pembersihan sisa oksida pada kapasitas tanki 52 000 l yaitu sebesar = Rp 190 457 800/tahun.

- Asumsi 1 liter bahan baku yaitu $\text{Rp } 190\,457\,800 / 52\,000\,1 = \text{Rp } 3\,662/\text{liter}$
- Kehilangan larutan sebelum pergantian pipa pada tanki sebanyak 10 liter/3 bulan dengan kerugian sebesar = $\text{Rp } 36\,626$.
- Asumsi bahan baku 1 bulan $\text{Rp } 36\,626 : 12 = \text{Rp } 12\,208/\text{bulan}$
- Penghematan selama 1 tahun $36\,626 \times 4 = \text{Rp } 146\,504/\text{tahun}$

$$\text{Cost} = \frac{\text{Rp } 389\,700}{3 \text{ tahun} \times 12} = \text{Rp } 10\,825 \text{ bulan}$$

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\text{Rp } 12\,208/\text{bulan}}{\text{Rp } 10\,825/\text{bulan}} = 1.1$$

$$PBP = \frac{\text{Rp } 389\,700/\text{bln}}{\text{Rp } 12\,208/\text{bln}} = 32 \text{ bula} := 2.6 \text{ tahun}$$

Pemilihan Prioritas Peluang Produksi Bersih

Teknik produksi bersih yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya belum tentu dapat dilakukan secara bersamaan. Penerapan teknik produksi bersih dapat dilakukan menurut skala prioritas. Penentuan prioritas tersebut dapat dilakukan melalui metode perbandingan eksponensial.

Terdapat beberapa teknik produksi bersih yang diperoleh dalam penelitian ini diantaranya modifikasi/penambahan peralatan dan peningkatan *good housekepping*. Berdasarkan hasil analisis teknis, ekonomi, dan lingkungan diperoleh penilaian dari beberapa pakar kemudian dianalisis dengan menggunakan metode perbandingan eksponensial dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Prioritas peluang produksi bersih.

No	Peluang Produksi Bersih	Teknis	Finansial	SDM	Lingkungan	Nilai	Tingkat Prioritas
1	Good housekepping	7.15	8.2	9	8.85	19 685	1
2	Mencegah kontaminasi larutan	8.75	7	7.7	9.1	18 461	2
3	Menghilangkan penguapan	6.6	7	6.5	7.15	8 579	3
	Bobot Kriteria	3.7	4	3.8	4.2		

Berdasarkan hasil skor diatas diketahui bahwa dari beberapa pilihan teknik produksi bersih yang diperoleh, pilihan mengganti pipa yang rusak/bocor dengan *good housekepping* dipertimbangkan sebagai prioritas utama yang dapat diterapkan. Pemilihan tersebut kemudian berturut-turut diikuti oleh opsi mencegah kontaminasi larutan dan menghilangkan penguapan dengan modifikasi/penambahan alat. Pakar menilai bahwa prioritas utama mudah untuk diterapkan dan dapat mengurangi biaya pengolahan limbah. Selanjutnya teknik-teknik lain dapat dilakukan agar berlangsung lebih optimal.

SIMPULAN

Limbah cair terbentuk berasal dari proses pembersihan lemak, pelapisan logam dan pembersihan sisa oksida. Limbah cair atau kehilangan berupa pelarut lemak yang terkontaminasi, kehilangan air yang banyak akibat penguapan dan kebocoran. Dari identifikasi peluang produksi bersih yang dapat diterapkan dengan melakukan modifikasi/penambahan peralatan untuk menghindari kontaminasi larutan dan menghilangkan penguapan serta peningkatan *good housekepping* sebagai alternatif perbaikan yang dapat meminimisasi terbentuknya limbah cair. Ketiga peluang produksi bersih yang diperoleh mempunyai nilai *B/C Ratio* lebih dari 1, maka layak untuk dilaksanakan. Hasil rekomendasi peluang produksi bersih yang diperoleh dan dinilai

oleh para pakar memberikan prioritas utama untuk dilaksanakan terlebih dahulu. Berdasarkan metode perbandingan eksponensial diperoleh prioritas utama produksi bersih yaitu pergantian pipa pada tanki proses pembersihan sisa oksida untuk menghindari kebocoran, secara teknis dan operasional paling mudah diterapkan dan diikuti berturut-turut oleh modifikasi/penambahan alat pada pembersihan lemak dan pelapisan logam.

SARAN

Dalam upaya penerapan produksi bersih agar dapat dijalankan perlu dilandasi oleh peningkatan adanya kesadaran pada setiap karyawan melalui pelatihan serta peran manajemen dalam mengawasi aktivitas masing-masing produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *Kebijakan Nasional Produksi Bersih*. Jakarta: Negara Lingkungan Hidup.
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 2003. Cleaner production assessment in industries. [internet]. [di unduh 15 Apr 2017]. Tersedia pada: <http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding.htm>.
- Andrisel P, Sri H. 2015. Karakterisasi sifat mekanik hasil elektroplating nikel karbonat (NiCO_3) pada tembaga (Cu). *Jurnal Fisika Unand*. 4(1): 83–90.
- Athiek SR, Nurul HF, Alvika MS. 2014. Pengaruh kada Ni terhadap sifat permukaan katalis Ni berbahan baku limbah elektroplating. Di dalam: Seminar nasional sains dan teknologi. Medan: Universitas HKBP Nommensen. hlm 9.
- Basaran B. 2013. What makes manufacturing companies more desirous of recycling. *Jurnal management of environmental quality*. 24(1): 107-122.
- Dwi AS, Tommy K, Dian L. 2008. Bioteknologi lingkungan untuk penanggulangan limbah mengandung krom. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*. 10(2): 50-53.
- Generousdi, Rodesri M. 2005. Penerapan teknologi produksi bersih pada industri elektroplating. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1): 11-18.
- Hadi S. 2016. Pengaruh komposisi larutan kimia dan waktu pelapisan chrom terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan permukaan pada plat kuningan. *Jurnal Teknik Mesin*. 6(1): 38-42.
- Haryono AT. 2016. Analisis Penerapan Produksi Bersih Industri Kertas Studi Kasus di PT. Pindodeli Pulp and Paper Mills Indonesia Unit Paper Machine 4 [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Indrasti NS, Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor: IPB Press.
- Indrasti NS. 2012. *Metodologi dan Prosedur Audit Produksi Bersih (Neraca Massa, Energi, dan Limbah)*. Bogor: IPB Press.
- Lestina TIS. 2012. Dampak dan pengendalian limbah cair industri. Di dalam: Karya Ilmiah. Medan: Universitas HKBP Nommensen. hlm 9.
- Manope BF, Kindangen P, Tawas H. 2014. Analisis keleyakan usaha komoditas biji dan fuli pala melalui penilaian aspek finansial pada pedagang pengumpul di pulau siau. *Jurnal EMBA*. 2(4): 320-330.
- Marimin. 2004. *Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. Jakarta: Grasindo.
- Moertinah S. 2008. Peluang-peluang produksi bersih pada Industri Tekstil Finishing Bleaching (Studi Kasus Pabrik Tekstil Finishing Bleaching PT.Damaitek Semarang) [tesis]. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Ronita RS, Regina TP. 2017. Optimasi kondisi proses electroplating logam kromium dalam limbah cair elektroplating. *Jurnal Kimia Dasar*. 6(4): 134-142.
- Sahat P. 2004. Minimisasi Limbah pada Industri Pelapisan Logam Studi Kasus PT. Arbintek Cakung Jakarta Timur [tesis]. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Satmoko Y, Nusa SI. 2005. Pengolahan air limbah industri kecil pelapisan logam. *Jurnal Air Limbah*. 1(1): 17-29.
- Sudana IM, Arsani IAA, Waisnawa S. 2014. Alat simulasi pelapisan logam dengan metode elektroplating. *Jurnal Logic*. 4(3): 190-198.

- Sumada K. 2006. Kajian instalasi pengolahan air limbah industri elektroplating yang efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 1(1): 26-35.
- Triwulandari SD, Dedy S, Dorina H. 2015. Model pemilihan industri komponen otomotif yang ramah lingkungan. *Jurnal Teknik Industri*. 1(6): 208-216.
- Yastri, Zainus, Sudarno. 2015. Pengaruh ph dan waktu proses dalam penyisihan logam berat Cr, Fe, Zn, Cu, Mn, dan Ni dalam air limbah industri elektroplating dengan proses oksidasi biokimia. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(3): 100-109.